

BEST AVAILABLE COPY



PCTIFR 2004 / 001858

REÇU 22 oct 2004	
OMPI	PCT

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 16 JUIL. 2004.

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint-Petersbourg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr



**21 JUIL 2003**  
**76 INPI PARIS**  
 26 bis, rue de Saint-Petersbourg  
 75800 Paris Cedex 08  
 Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 54 88 54

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

**surfa**  
N° 11354\*03

## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 1/2

**BR1**

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 210502

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES  
DATE

**21 JUIL 2003**

LIEU

**76 INPI PARIS**

N° D'ENREGISTREMENT

**0308865**

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE  
PAR L'INPI

**21 JUIL. 2003**

Vos références pour ce dossier

(facultatif)

**BIF116044/FR**

**1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE  
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE**

**SANTARELLI**

**14, avenue de la Grande Armée**

**75017 PARIS**

Confirmation d'un dépôt par télécopie

☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

**2 NATURE DE LA DEMANDE**

Cochez l'une des 4 cases suivantes

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

*Demande de brevet initiale*

N°

Date

*ou demande de certificat d'utilité initiale*

N°

Date

Transformation d'une demande de  
brevet européen *Demande de brevet initiale*

☐

N°

Date

**3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)**

**Structure empilée, et Procédé pour la fabriquer**

**4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ**

**OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE**

**LA DATE DE DÉPÔT D'UNE**

**DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE**

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

**5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)**

☒ **Personne morale** ☐ **Personne physique**

Nom  
ou dénomination sociale

**COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE**

Prénoms

Forme juridique

N° SIREN

Code APE-NAF

**Etablissement public à caractère scientifique, technique et industriel**

Domicile

Rue

**31/33, rue de la Fédération**

ou  
siège

Code postal et ville

**75 754 PARIS CEDEX 15**

Pays

**FRANCE**

Nationalité

**FRANCAISE**

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)

☐ S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

Remplir impérativement la 2ème page

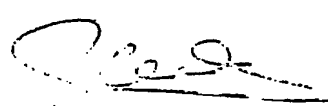
**BREVET D'INVENTION  
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE**  
page 2/2

**BR2**

RÉSERVÉ À L'INPI	
REMISE DES PIÈCES	
DATE	21 JUIL 2003
LIEU	75 INPI PARIS
N° D'ENREGISTREMENT	0308865
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI	

DB 540 W / 210502

<b>6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)</b>		<b>BIF116044/FR</b>	
Nom			
Prénom			
Cabinet ou Société		SANTARELLI	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel			
Adresse	Rue	14 Avenue de la Grande Armée	
	Code postal et ville	75017 PARIS	
	Pays		
N° de téléphone (facultatif)		01 40 55 43 43	
N° de télécopie (facultatif)			
Adresse électronique (facultatif)			
<b>7 INVENTEUR (S)</b>		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques	
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'Inventeur(s)	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence): AG [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]	
<b>10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS</b>		<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences	
Le support électronique de données est joint		<input type="checkbox"/>	
La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe		<input type="checkbox"/>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<b>11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI	
François LEPPELETIER-BEAUFOND N° 92.1151 SANTARELLI			

Le domaine général de l'invention est celui de la fabrication de microstructures à partir de substrats (« *wafer level* » en anglais), par exemple au moyen des techniques de microusinage ou de traitement chimique utilisées en microélectronique (dépôt et gravure de couches, photolithographie, et ainsi de suite).

L'invention concerne plus particulièrement certaines microstructures de type MEMS (initiales des mots anglais « *Micro-Electro-Mechanical Systems* », c'est à dire « Systèmes Electro-Mécaniques Microscopiques »), telles que divers détecteurs et actionneurs, qui sont obtenues par libération de parties mobiles (par exemple des membranes ou des masses sismiques).

Pour obtenir de telles microstructures, on peut utiliser par exemple au départ un matériau du type SOI (initiales des mots anglais « *Silicon On Insulator* » signifiant Silicium sur Isolant), qui comprend habituellement une couche superficielle de silicium et d'une couche d'oxyde de silicium  $\text{SiO}_2$  enterrée sous-jacente.

Il existe plusieurs moyens de fabriquer du matériau SOI. A cet égard, on pourra par exemple consulter l'ouvrage de Q.Y. Tong et U. Goesele intitulé « *Semiconductor Wafer Bonding* » (Science and Technology, ECS Series, John Wiley, New Jersey 1999). Cependant, la majorité des matériaux SOI est aujourd'hui fabriquée par la technique d'adhésion moléculaire. Par exemple, on colle par adhésion moléculaire deux plaques de silicium dont au moins une des deux plaques contient une couche d'oxyde de silicium en surface. La couche d'oxyde de silicium est habituellement réalisée par oxydation thermique. Ensuite on amincit une des deux plaques. On obtient ainsi une structure de type SOI.

Plusieurs techniques permettant d'obtenir une couche mince peuvent être utilisées (dans le cadre de la présente invention, on qualifiera une couche de « mince » si son épaisseur est inférieure à quelques dizaines de microns). Par exemple, une première technique est l'amincissement (mécanique par rectification et/ou lissage, et/ou chimique, et/ou mécano-chimique). Une deuxième technique est la fracture au niveau d'une zone fragile, cette zone fragile ayant été créée, avant ladite

adhésion moléculaire, à une certaine profondeur dans une des deux plaques, par exemple par implantation d'une ou plusieurs espèces gazeuses : la demande de brevet FR-2 681 472 divulgue un tel procédé, qui est à présent connu sous le nom de procédé « Smart-Cut<sup>®</sup> » (voir par exemple l'article de B. Aspar *et al.* intitulé « *The Generic Nature of the Smart-Cut<sup>®</sup> Process for Thin-Film Transfer* », dans Journal of Electronic Materials, vol. 30, n° 7, 2001). Ces procédés sont très bien adaptés pour l'obtention de couches minces superficielles de silicium, habituellement choisies inférieures à 2  $\mu\text{m}$ .

A partir de ce matériau SOI, il est possible de réaliser des structures mécaniques mobiles ou déformables, par exemple par usinage du film supérieur de silicium et libération de la structure par attaque chimique de l'oxyde sous-jacent, tout ou partie ; on crée par exemple la structure mécanique en gravant avec un plasma la couche mince superficielle de silicium, et en gravant par attaque chimique avec de l'acide fluorhydrique HF la couche d'oxyde de silicium.

Dans le cadre de la présente invention, on dira qu'une couche faisant partie d'une structure empilée est une couche « sacrificielle » lorsque cette couche est apte à être ultérieurement éliminée, par exemple lors d'une utilisation de cette structure empilée pour fabriquer un composant comprenant une partie mobile ou déformable. La matière constituant une couche sacrificielle est donc différente, du point de vue chimique ou cristallographique, de la matière constituant les couches « non sacrificielles », c'est à dire destinées à être gardées après élimination de la couche sacrificielle. Par exemple dans le cas où la structure empilée est un matériau SOI, la couche d'oxyde de silicium joue le rôle de « couche sacrificielle », et les couches de silicium celui de « couches non sacrificielles ».

Ce mode de réalisation est relativement simple à mettre en œuvre, et il permet d'obtenir toute une variété de microstructures.

Par exemple, on peut réaliser ainsi des capteurs de pression de bonne qualité.

Comme exemple d'une telle microstructure, on peut citer également l'accéléromètre divulgué dans le brevet FR 2 558 263. Cet accéléromètre

comprend, au sein d'une couche mince, une première partie découpée dans cette couche mince et une seconde partie constituée par le reste de la couche mince, la première partie étant reliée à la seconde au moyen de poutrelles flexibles permettant à cette première partie, ou partie « sensible », de se déplacer avec une certaine amplitude dans le plan de la couche mince. Ce dispositif sert à mesurer les accélérations d'un système quelconque dont il est solidaire, au moyen d'une variation de capacité électrique causée par ledit déplacement.

On pourra trouver d'autres exemples détaillés de telles microstructures dans l'article de B. Diem *et al.*, intitulé « *SOI 'SIMOX' ; from bulk to surface micromachining, a new age for silicon sensors and actuators* », dans *Sensors and Actuators*, vol. A 46 – 47, pages 8 à 16 (1995).

Cependant, la fabrication de telles microstructures doit faire face au problème suivant. Lors de la réalisation de la structure, et en particulier au moment du séchage du liquide de rinçage après attaque chimique à l'acide fluorhydrique, les forces de capillarité entre les surfaces et le liquide sont très importantes et conduisent à des phénomènes de collage partiel ou total des structures libérées ; une autre cause de collage est, le cas échéant, le dépôt solide qui se produit au moment dudit séchage. Cela conduit par exemple, dans le cas de l'accéléromètre décrit ci-dessus, au collage des poutrelles avec le substrat constituant le fond de la cavité contenant le dispositif, ce qui empêche évidemment les poutrelles de se déplacer comme prévu sous l'effet des accélérations du système.

Les techniques de fabrication de structures SOI mentionnées ci-dessus conduisent à des interfaces (entre la couche superficielle de silicium et l'oxyde enterré, et entre l'oxyde enterré et le substrat) qui sont très peu « rugueuses ». Ce « problème du collage » est d'autant plus important que les structures SOI sont aujourd'hui réalisées avec un souci d'avoir des interfaces très lisses ; il est également d'autant plus gênant que l'épaisseur du film d'oxyde sera fine, et que les dimensions des structures à libérer seront grandes.

Afin d'éviter ces problèmes de collage indésirable, il est nécessaire de prendre d'importantes précautions, ce qui rend le procédé de libération complexe, onéreux et difficile à maîtriser. De plus, pour des raisons de fiabilité, on souhaite éviter que de tels collages indésirables des faces en regard au sein des composants MEMS ne se produisent après la mise en service de ces composants.

Un premier moyen connu pour empêcher ce collage consiste à réduire l'énergie de collage de la couche libérée et du substrat. Mais ces techniques utilisent des méthodes de préparation chimique des surfaces qui sont incompatibles avec les hautes températures habituellement requises pour les étapes ultérieures de fabrication des MEMS. Pour plus de détails, on pourra se référer à l'article de C.H. Mastrangelo intitulé « *Suppression of Stiction in MEMs* » (Actes du Séminaire de la Materials Research Society, vol. 605, 2000).

Un second moyen connu pour empêcher ce collage consiste à s'arranger pour que, lors du rapprochement de ces deux surfaces, l'aire de contact effectif soit faible.

Un tel procédé a été divulgué dans le brevet FR 9 508 882. Ce procédé consiste à maintenir à distance la couche libérée et le substrat en gravant la couche sacrificielle intermédiaire de manière à créer des butées sur chacune des faces en regard de la couche libérée et du substrat.

Un autre tel procédé a été décrit dans l'article de R.L. Alley *et al.* intitulé « *Surface Roughness Modification of Interfacial Contacts in Polysilicon Microstructures* » (Actes de la 7<sup>ème</sup> Conférence Internationale sur les Détecteurs et Actionneurs à Semiconducteurs). Cet article propose un procédé d'élaboration de composants à parties mobiles incluant des étapes pour aboutir à un composant dont les faces libres en regard présentent une « rugosité » apte à éviter un collage indésirable entre lesdites faces (pour une définition statistique de la « rugosité, » on se référera à cet article ; on peut par exemple effectuer des mesures de rugosité avec un microscope à force atomique explorant des zones, par exemple, de 1  $\mu\text{m}$  x 1  $\mu\text{m}$ ). Ce procédé consiste, pendant l'étape de libération chimique de la structure, à rendre rugueuses les surfaces concernées afin que l'aire de

contact effectif soit limitée aux sommets des aspérités de ces surfaces. L'article de R.L. Alley *et al.* a essentiellement pour objet d'étudier comment la force de collage diminue quand la rugosité augmente.

Or le procédé décrit dans cet article a pour Inconvénient qu'il ne permet pas de réaliser certains types de composants. Notamment, ce procédé prévoit le dépôt d'un film superficiel sur le substrat de la structure empilée ; or l'homme du métier sait que, selon les matériaux concernés par exemple, ce dépôt n'est pas toujours possible. Par exemple, ce procédé ne permet pas d'obtenir un film superficiel à libérer qui soit monocristallin si la matière de la couche sacrificielle est amorphe ; il ne permet pas non plus d'obtenir un film monocristallin, de silicium par exemple, sur une couche sacrificielle en matériau polymère en raison de l'incompatibilité entre la température de dépôt de ce film de silicium et les températures que peut habituellement supporter un polymère.

La présente invention concerne donc un procédé de fabrication d'une structure empilée, au besoin de grandes dimensions, le cas échéant sur toute la surface d'une plaquette ayant par exemple un diamètre de 200 mm, et permettant ultérieurement la réalisation de n'importe quel composant de type MEMS sans collage des structures mécaniques mobiles ou déformables. Ce procédé de fabrication doit pouvoir être applicable quelles que soient les caractéristiques desdits composants, notamment leur taille ou les matériaux utilisés, en particulier lorsque la couche superficielle devant être (au moins partiellement) libérée est monocristalline, ou ne peut être déposée simplement sur la structure empilée requise.

L'invention propose donc, selon un premier aspect, un procédé de fabrication d'une structure empilée, ledit procédé étant remarquable en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

a) on prend une première plaque et une seconde plaque, telles qu'au moins une desdites première et seconde plaques présente une surface structurée, au moins en partie,



b) on réalise une couche sacrificielle sur une partie au moins de la surface de la première plaque et/ou de la surface de la seconde plaque, et  
c) on colle les deux plaques entre elles.

Ainsi, la mise en œuvre du procédé selon l'invention fournit une  
5 structure empilée comprenant une couche sacrificielle située entre deux substrats, et dans laquelle au moins l'un des deux substrats est tel qu'une partie au moins de sa surface en contact avec ladite couche sacrificielle est « structurée ». Dans le cadre de l'invention, on dira qu'une surface est « structurée » lorsqu'elle se trouve être essentiellement incapable de se coller à  
10 un autre substrat prédéterminé. Une surface peut par exemple être structurée du fait de la nature physico-chimique de cette surface, ou d'un revêtement appliqué sur cette surface ; une surface peut également être structurée en raison d'une rugosité supérieure à un seuil prédéterminé, par exemple égal à 0,2 nm RMS environ.

15 En partant de la structure empilée ainsi obtenue, on pourra par exemple éliminer une partie de la couche sacrificielle intermédiaire entre les deux plaques, et obtenir deux surfaces en regard dont l'une au moins présente une structuration appropriée. On évitera de la sorte que ces deux surfaces ne se collent l'une à l'autre suite à un rapprochement entre les deux substrats.

20 On notera que, selon l'invention, la réalisation de surface(s) structurée(s) a lieu avant ou pendant la fabrication de la structure empilée, et donc de façon indépendante de la fabrication d'un composant de type MEMS.

Grâce à l'invention, on peut avantageusement choisir, pour constituer la structure empilée, tout ensemble de matériaux pouvant être  
25 ultérieurement utiles à la réalisation d'un composant MEMS. Par exemple, on pourra obtenir un empilement comprenant une couche mince de silicium sur une couche sacrificielle en polymère, ou une couche mince de silicium monocristallin sur une couche sacrificielle en oxyde de silicium. On notera également que le procédé selon l'invention n'impose aucune  
30 limitation sur les dimensions latérales de la structure empilée obtenue.

Selon des caractéristiques particulières de l'invention, on réalise en outre, avant ladite étape c), un lissage de la surface libre d'une couche

sacrificielle ou, le cas échéant, des deux couches sacrificielles, et/ou, le cas échéant, de la surface libre de l'une desdites plaques.

Grâce à ces dispositions, on facilite le collage subséquent (étape c)).

Ce collage pourra par exemple être un collage moléculaire, ou bien un collage  
 5 utilisant une colle sacrificielle, c'est à dire une colle apte à être ultérieurement éliminée, par exemple lors d'une utilisation de ladite structure empilée pour fabriquer un composant comprenant une partie mobile ou déformable. De plus, le collage de l'étape c) pourra être « assisté » par exemple par des moyens mécaniques et/ou par un traitement plasma et/ou thermique, ces opérations  
 10 étant réalisées pendant ou après ce collage, sous atmosphère spécifique ou à l'air libre.

Grâce à ces dispositions, on peut, notamment, consolider les diverses interfaces et/ou les rendre compatibles avec les futures étapes de réalisation des composants MEMS. On peut également ainsi rendre  
 15 adhérentes deux surfaces rugueuses qui ne se colleraient pas l'une à l'autre spontanément.

Selon encore d'autres caractéristiques particulières de l'invention, suite à l'étape c), on amincit au moins une des deux plaques.

Grâce à ces dispositions, on pourra par exemple réaliser dans le film  
 20 mince ainsi obtenu les parties d'un composant de type MEMS qui deviendront mobiles après élimination de la couche sacrificielle située au contact de ces parties.

Les deux plaques ainsi que la couche sacrificielle peuvent, bien entendu, être ou simples ou composites, c'est à dire formées elles-mêmes  
 25 d'un empilement de couches en divers matériaux. La structure empilée ainsi obtenue peut avantageusement être de type SOI.

Par exemple, la première plaque, de même que la seconde plaque, peut être faite de silicium, ou d'un semi-conducteur autre que le silicium, par exemple SiC, GaN, ou InP, ou encore d'un matériau non semi-  
 30 conducteur, tel que LiNbO<sub>3</sub>, LiTaO<sub>3</sub>, un verre, une silice fondue, ou un matériau supraconducteur. La première plaque, de même que la seconde plaque, peut également être une combinaison quelconque de ces matériaux,

en particulier un empilement Si monocristallin/Si polycristallin, ou SiC/Si, ou InP/Si, ou SiC monocristallin/SiC polycristallin, ou encore SiC/SiO<sub>2</sub>/SiC polycristallin. La matière constituant la couche sacrificielle réalisée sur la première plaque et/ou la matière constituant la couche sacrificielle  
5 réalisée sur la seconde plaque peut être, par exemple, de l'oxyde de silicium ou un matériau polymère.

Selon des caractéristiques particulières, au moins une desdites plaques présente initialement une couche superficielle. En particulier, cette couche superficielle peut avoir pour effet de structurer la surface de  
10 la plaque sur laquelle elle repose, en raison de la nature physico-chimique de cette couche superficielle.

Selon un deuxième aspect, l'invention concerne également diverses structures empilées.

Elle concerne ainsi, premièrement, une structure empilée qui a été  
15 fabriquée au moyen de l'un quelconque des procédés décrits succinctement ci-dessus.

Deuxièmement, l'invention concerne une structure empilée, ladite structure étant remarquable en ce qu'elle comprend une couche sacrificielle située entre un premier substrat et un second substrat, et en ce qu'au moins  
20 un desdits premier et second substrat possède une surface structurée, au moins en partie.

Les deux substrats ainsi que la couche sacrificielle peuvent, bien entendu, être ou simples ou composites, c'est à dire formés eux-mêmes d'un empilement de couches en divers matériaux. La structure  
25 empilée ainsi obtenue peut en particulier être de type SOI.

Par exemple, le premier substrat, de même que le second substrat, peut être fait de silicium, ou d'un semi-conducteur autre que le silicium, par exemple SiC, GaN, ou InP, ou encore d'un matériau non semi-conducteur, tel que LiNbO<sub>3</sub>, LiTaO<sub>3</sub>, un verre, une silice fondue, ou un  
30 matériau supraconducteur. Le premier substrat, de même que le second substrat, peut également être une combinaison quelconque de ces matériaux, en particulier un empilement Si monocristallin/Si polycristallin, ou

SiC/Si, ou InP/Si, ou SiC monocristallin/SiC polycristallin, ou encore SiC/SiO<sub>2</sub>/SiC polycristallin. La matière constituant la couche sacrificielle peut être, par exemple, de l'oxyde de silicium ou un matériau polymère.

Selon d'autres caractéristiques particulières de l'invention, l'un au moins des deux substrats est une couche mince.

Les avantages offerts par ces matériaux sont essentiellement les mêmes que ceux offerts par les procédés de fabrication correspondants.

D'autres aspects et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée, que l'on trouvera ci-dessous, de modes particuliers de réalisation donnés à titre d'exemples non limitatifs. Cette description se réfère aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 représente une plaque de silicium avant la mise en œuvre de l'invention,
- la figure 2 représente la même plaque de silicium après application d'une première étape d'un procédé de fabrication selon un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 3 représente une deuxième étape de ce procédé,
- la figure 4 représente une troisième étape de ce procédé,
- la figure 5 représente une quatrième étape de ce procédé, et
- la figure 6 représente une cinquième étape de ce procédé.

On prend tout d'abord une plaque de silicium standard 1 dont la surface 2 présente une rugosité  $r_2$  qui est, habituellement, de l'ordre de 0,1 nm (**figure 1**).

On « structure » ensuite cette surface 2 (**figure 2**), par exemple en créant une rugosité  $r'_2$  à la surface 2 de la plaque 1. De préférence, on créera une rugosité  $r'_2$  dans la gamme de 0,2 nm à quelques micromètres. La rugosité à choisir dépend notamment, par exemple, de l'épaisseur de la couche intermédiaire sacrificielle, des paramètres géométriques du futur composant à parties mobiles visé, et des contraintes dans le film superficiel.

L'homme du métier saura déterminer la rugosité à utiliser pour éviter tout collage indésirable au sein de ce composant.

Pour produire cette rugosité à la surface du silicium, on peut, par exemple, effectuer une ou plusieurs attaques par un mélange de type RCA SC1 ( $\text{H}_2\text{O} : \text{NH}_4\text{OH} : \text{H}_2\text{O}_2$  6 : 1 : 1 à 80°C), et/ou utiliser d'autres procédés de gravure chimique humide (par exemple en utilisant une solution de TMAH ou de KOH), et/ou utiliser des procédés de gravure sèche (telle que la pulvérisation ionique réactive ou non réactive). Parmi les techniques permettant de produire cette rugosité, on citera en particulier :

- la technique de réalisation du silicium « noir », telle que décrite par exemple dans l'article de M. Schnell intitulé « *Plasma Surface Texturization for Multicrystalline Silicon Solar Cells* » (IEEE, XXVIII<sup>ème</sup> Conférence Photovoltaïque),

- les techniques « mécaniques », par exemple de sablage ou de rodage de surface (« *grinding* » en anglais),

- les techniques de « fracture » dans des matériaux cristallins laissant des substrats rugueux après fracture, et telles qu'utilisées par exemple dans le procédé Smart-Cut<sup>®</sup> (comprenant une implantation d'espèces et une fracture), ou dans le procédé Eltran<sup>®</sup> de la société CANON (comprenant l'obtention de silicium poreux et une fracture dans la zone poreuse),

- les techniques, bien connues de l'homme du métier, de gravure chimique pour obtenir des matériaux poreux, par exemple celles appliquées au silicium, et

- les techniques de dépôt, notamment un dépôt de nitrure de silicium  $\text{Si}_3\text{N}_4$  par PECVD (on notera à cet égard que le dépôt par PECVD est plus rugueux que le dépôt par LPCVD).

25 Au cours d'une deuxième étape, on réalise (figure 3), à la surface de cette plaque 1, une couche sacrificielle 3.

La couche 3 peut par exemple être en oxyde de silicium. Dans ce cas, cette couche 3 peut être obtenue par oxydation thermique en atmosphère sèche ou humide, ou par dépôt (LPCVD, PECVD, ou toute autre méthode adaptée). La rugosité  $r_4$  à la surface 4 de cette couche 3 peut être du même ordre de grandeur que la rugosité initiale de la plaque 1, ou supérieure (il est connu d'augmenter la rugosité en déposant des films successifs, la

rugosité croissant avec le nombre de films déposés et leur épaisseur), ou bien réduite au moyen, par exemple, du dépôt d'un oxyde de lissage (non représenté) réalisé à basse température et dont le fluage en surface peut être provoqué, par exemple, par un traitement thermique adapté.

- 5                   Cependant, dans certains cas, on peut vouloir adapter cette rugosité présentée par la surface 4 de la couche 3, de manière à faciliter l'étape suivante de collage aboutissant à la structure empilée selon l'invention. Pour cela, on peut par exemple obtenir une rugosité  $r'_4$  un peu inférieure en réalisant, au cours d'une troisième étape (figure 4), un
- 10 lissage de surface, par exemple par un léger polissage mécano-chimique et/ou par un traitement thermique sous une atmosphère spécifique et/ou par dépôt d'une couche de lissage (non représentée).

Au cours d'une quatrième étape (figure 5), on prend une seconde plaque 5, par exemple en silicium polycristallin (pouvant d'ailleurs

15 éventuellement présenter en surface une couche 9 d'une autre matière, par exemple en silicium monocristallin ou en SiC), que l'on colle sur la couche 3, de préférence par adhésion moléculaire. Le collage peut également être réalisé au moyen d'un type de colle sacrificielle, c'est à dire pouvant être sélectivement retiré, par exemple un polymère photosensible.

- 20                   Dans le cas d'une rugosité de surface incompatible avec un collage moléculaire spontané des parties à assembler pour former la structure empilée selon l'invention, on peut avantageusement utiliser une « assistance de collage », en premier lieu en mettant les surfaces en contact, le cas échéant après application d'un traitement par plasma de ces surfaces, puis en
- 25 appliquant une contrainte mécanique et/ou un traitement thermique sur la structure empilée, sous atmosphère spécifique ou à l'air libre.

Un traitement thermique, appliqué pendant ou après le collage, permet de surcroît de consolider les diverses interfaces et/ou de les rendre compatibles avec les futures étapes de réalisation des composants

30 MEMS.

Enfin, au cours d'une cinquième étape facultative, on peut amincir au moins une des deux plaques 1 et/ou 5 (la plaque 5 sur la figure

6), de façon à obtenir une structure empilée 100, par exemple de type SOI. L'amincissement peut être réalisé selon l'une quelconque des méthodes connues, telles que celles décrites en introduction.

On notera qu'il est parfaitement possible, selon une variante de l'invention, de placer des étapes du procédé de réalisation de la microstructure, par exemple la gravure dans la couche sacrificielle des zones en contact avec les parties mobiles, au milieu des étapes que l'on vient de décrire, par exemple avant l'étape de collage. Dans ce cas, les parties mobiles pourront éventuellement aussi être définies avant l'étape de collage dans la plaque ultérieurement amincie ; après le collage et l'amincissement de la plaque comprenant les parties mobiles, on pourra appliquer un traitement thermique de renforcement de l'interface de collage de la structure empilée sans contrainte de pression (lesdites zones sous-jacentes aux parties mobiles débouchant en surface).

Le mode de réalisation décrit ci-dessus peut être modifié, ou généralisé, de diverses manières. En particulier, le procédé peut concerner tout ou partie seulement de la surface d'une au moins des plaques ou d'un des films traités. Par exemple, on peut obtenir une structuration prédéterminée sur une zone localisée en utilisant un procédé de lithographie.

Comme on l'a mentionné plus haut, la « structuration » d'une surface donnée peut être obtenue sans nécessairement rendre cette surface rugueuse.

Par exemple, lorsque l'autre substrat est en silicium, on pourra traiter la surface à structurer par nitruration.

Comme autre exemple, on pourra déposer sur la surface à structurer une couche d'un matériau « anti-collage », c'est à dire dont la nature physico-chimique est telle qu'elle s'oppose à tout collage ultérieur indésirable (naturellement, on peut éventuellement combiner les techniques de création de rugosité et de traitement de surface ou de réalisation d'une couche « anti-collage »).

On peut ainsi, initialement, déposer une couche superficielle 6 (non représentée), par exemple en  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , sur une première plaque 1 de

rugosité quelconque. On peut créer alors à la surface 2 de cette couche superficielle 6, comme expliqué précédemment, une rugosité  $r_2$ , par exemple du fait de la conformation par dépôt sur une surface rugueuse. Mais on peut aussi, au lieu de cette création de rugosité ou en supplément,

5 préparer la surface de cette couche superficielle 6 de manière à la rendre incompatible avec un collage indésirable avec le substrat destiné à se trouver en regard de la couche superficielle 6 ; on pourra par exemple, selon des procédés connus, rendre hydrophobe la surface d'une couche superficielle 6 en  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ; d'autres matériaux que le nitrure de silicium  $\text{Si}_3\text{N}_4$  peuvent être

10 utilisés ici, tels que le diamant, ou  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ou encore  $\text{ZrO}_2$ .

On dépose ensuite sur la couche superficielle 6 la couche sacrificielle 3 qui est, comme expliqué ci-dessus, adaptée au collage, par exemple moléculaire, avec la plaque 5 (qui est en silicium dans ce mode de réalisation), éventuellement après une étape de planarisation au

15 moyen d'un polissage mécano-chimique ou un traitement thermique. Au besoin, le collage pourra être « assisté » comme expliqué ci-dessus. Lors de la réalisation du composant à structure mobile, l'attaque sélective de la couche 3 permettra de rendre libre la surface structurée de la couche superficielle 6 : au cours de cette attaque sélective, par exemple utilisant

20 de l'acide fluorhydrique, la matière utilisée pour la couche sacrificielle 3, par exemple l'oxyde de silicium  $\text{SiO}_2$ , sera attaquée, alors que celle utilisée pour la couche superficielle 6, par exemple le nitrure de silicium  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , ne le sera pas.

On a décrit ci-dessus des modes de réalisation dans lesquels

25 seule la surface 2 de la première plaque 1 a été structurée ; mais il est clair que, dans le cadre de l'invention, on peut tout aussi bien, en plus ou à la place, structurer la surface 7 (non représentée) de la seconde plaque 5 (cette dernière comprenant éventuellement une couche superficielle 9, comme décrit ci-dessus).

30 Par ailleurs, dans les modes de réalisation décrits ci-dessus, on a réalisé une couche sacrificielle 3 seulement sur la première plaque 1 ; mais il est clair que, dans le cadre de l'invention, on peut tout aussi bien,



en plus ou à la place, réaliser une couche sacrificielle 8 (non représentée) sur la seconde plaque 5. On procède ensuite au collage des deux plaques comme décrit ci-dessus, après, éventuellement, un lissage de la surface 10 (non représentée) de cette couche sacrificielle 8.

5 Il est clair que l'on peut, par exemple par dépôt localisé ou par gravure, réaliser une couche sacrificielle qui n'est pas continue ; cela permet de définir dans la structure empilée des zones déjà évidées.

Les procédés décrits ci-dessus peuvent aussi s'appliquer à toute structure comportant une couche mince adhérent à une couche enterrée  
10 à sacrifier localement, par exemple d'oxyde de silicium, cette dernière reposant sur un support pouvant être autre que du silicium. Selon les besoins de l'application envisagée, l'homme du métier pourra associer plusieurs des procédés décrits ici pour la réalisation de structures empilées spécifiques selon l'invention.

15 On notera pour terminer que la structuration de surface requise par l'invention n'est pas nécessairement homogène sur toute l'étendue des surfaces concernées : pour certaines applications, il peut par exemple être avantageux de réaliser une surface dont la structuration est répartie aléatoirement, ou bien respecte une certaine distribution à la surface d'une des  
20 plaques.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une structure empilée, caractérisé en ce  
5 qu'il comprend les étapes suivantes :

a) on prend une première plaque (1) et une seconde plaque (5),  
telles qu'au moins une desdites première (1) et seconde (5) plaques  
présente une surface (2 ; 7) « structurée », au moins en partie,

b) on réalise une couche sacrificielle (3 ; 8) sur une partie au  
10 moins de la surface (2) de la première plaque et/ou de la surface (7) de la  
seconde plaque (5), et

c) on colle les deux plaques (1 ; 5) entre elles.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite  
surface (2 ; 7) est structurée en raison de sa nature physico-chimique.

15 3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite  
surface (2 ; 7) est structurée en raison d'une rugosité ( $r_2$ ,  $r_7$ ) supérieure à  
un seuil prédéterminé.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ledit seuil  
prédéterminé est égal à 0,2 nm RMS environ.

20 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,  
caractérisé en ce qu'au moins une desdites plaques (1 ; 5) présente  
initialement une couche superficielle (6 ; 9).

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que ladite  
couche superficielle (6 ; 9) est monocristalline.

25 7. Procédé selon la revendication 5 ou la revendication 6, caractérisé  
en ce que ladite couche superficielle (6 ; 9) est en silicium.

8. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que ladite  
couche superficielle (6 ; 9) a pour effet de structurer ladite surface (2 ; 7)  
en raison de la nature physico-chimique de cette couche superficielle (6 ;  
30 9).

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que ladite  
couche superficielle (6 ; 9) est en nitrure de silicium.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'on réalise en outre, avant ladite étape c), un lissage de la surface libre (4 ; 10) de la couche sacrificielle (3 ; 8), et/ou de la surface libre de l'une desdites plaques (1 ; 5).

5 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le collage de ladite étape c) est un collage moléculaire.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que le collage de ladite étape c) utilise une colle sacrificielle.

10 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le collage de ladite étape c) est assisté par des moyens mécaniques et/ou par un traitement plasma et/ou thermique, ces opérations étant réalisées pendant ou après ce collage, sous atmosphère spécifique ou à l'air libre.

15 14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, suite à ladite étape c), on amincit au moins une des deux plaques (1) et/ou (5).

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la partie massive d'au moins une des plaques (1 ; 5) est faite d'une matière semi-conductrice.

20 16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que ladite partie massive est en silicium.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la couche sacrificielle (3 ; 8) est en oxyde de silicium.

25 18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la matière constituant la couche sacrificielle (3 ; 8) est un polymère.

19. Structure empilée (100), caractérisée en ce qu'elle a été fabriquée au moyen d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 18.

30 20. Structure empilée (100), caractérisée en ce qu'elle comprend une couche sacrificielle (3,8) située entre un premier substrat (1) et un second substrat (5), et en ce qu'au moins un desdits premier (1) et

second (5) substrat possède une surface (2 ; 7) « structurée », au moins en partie.

21. Structure empilée selon la revendication 20, caractérisé en ce que ladite surface (2 ; 7) est structurée en raison de sa nature physico-  
5 chimique.

22. Structure empilée selon la revendication 20, caractérisé en ce que ladite structuration de la surface (2 ; 7) est due à une rugosité ( $r'_2$ ,  $r'_7$ ) supérieure à un seuil prédéterminé.

23. Structure empilée selon la revendication 22, caractérisé en ce  
10 que ledit seuil prédéterminé est égal à 0,2 nm environ.

24. Structure empilée selon l'une quelconque des revendications 20 à 23, caractérisé en ce qu'au moins l'un desdits substrats (1 ; 5) présente une couche superficielle (6 ; 9).

25. Structure empilée selon la revendication 24, caractérisé en ce  
15 que ladite couche superficielle (6 ; 9) est monocristalline.

26. Structure empilée selon la revendication 24 ou la revendication 25, caractérisé en ce que ladite couche superficielle (6 ; 9) est en silicium.

27. Structure empilée selon la revendication 24, caractérisé en ce que ladite couche superficielle (6 ; 9) a pour effet de structurer ladite  
20 surface (2 ; 7) en raison de la nature physico-chimique de cette couche superficielle (6 ; 9).

28. Structure empilée selon la revendication 27, caractérisé en ce que ladite couche superficielle (6 ; 9) est en nitrure de silicium.

29. Structure empilée selon l'une quelconque des revendications 20  
25 à 28, caractérisée en ce que la partie massive d'au moins un des substrats (1 ; 5) est faite d'une matière semi-conductrice.

30. Structure empilée selon la revendication 29, caractérisée en ce que ladite partie massive est en silicium.

31. Structure empilée selon l'une quelconque des revendications 20  
30 à 30, caractérisée en ce que la couche sacrificielle (3,8) est en oxyde de silicium.

second (5) substrat possède une surface (2 ; 7) « structurée », au moins en partie.

21. Structure empilée selon la revendication 20, caractérisé en ce que ladite surface (2 ; 7) est structurée en raison de sa nature physico-  
5 chimique.

22. Structure empilée selon la revendication 20, caractérisé en ce que ladite structuration de la surface (2 ; 7) est due à une rugosité ( $r'_2$ ,  $r'_7$ ) supérieure à un seuil prédéterminé.

23. Structure empilée selon la revendication 22, caractérisé en ce  
10 que ledit seuil prédéterminé est égal à 0,2 nm RMS environ.

24. Structure empilée selon l'une quelconque des revendications 20 à 23, caractérisé en ce qu'au moins l'un desdits substrats (1 ; 5) présente une couche superficielle (6 ; 9).

25. Structure empilée selon la revendication 24, caractérisé en ce  
15 que ladite couche superficielle (6 ; 9) est monocristalline.

26. Structure empilée selon la revendication 24 ou la revendication 25, caractérisé en ce que ladite couche superficielle (6 ; 9) est en silicium.

27. Structure empilée selon la revendication 24, caractérisé en ce que ladite couche superficielle (6 ; 9) a pour effet de structurer ladite  
20 surface (2 ; 7) en raison de la nature physico-chimique de cette couche superficielle (6 ; 9).

28. Structure empilée selon la revendication 27, caractérisé en ce que ladite couche superficielle (6 ; 9) est en nitrure de silicium.

29. Structure empilée selon l'une quelconque des revendications 20  
25 à 28, caractérisée en ce que la partie massive d'au moins un des substrats (1 ; 5) est faite d'une matière semi-conductrice.

30. Structure empilée selon la revendication 29, caractérisée en ce que ladite partie massive est en silicium.

31. Structure empilée selon l'une quelconque des revendications 20  
30 à 30, caractérisée en ce que la couche sacrificielle (3,8) est en oxyde de silicium.

32. Structure empilée selon l'une quelconque des revendications 20 à 30, caractérisée en ce que la matière constituant la couche sacrificielle (3,8) est un polymère.

33. Structure empilée selon l'une quelconque des revendications 20 à 32, caractérisée en ce qu'au moins l'un desdits substrats (1 ; 5) est une couche mince.

1/2

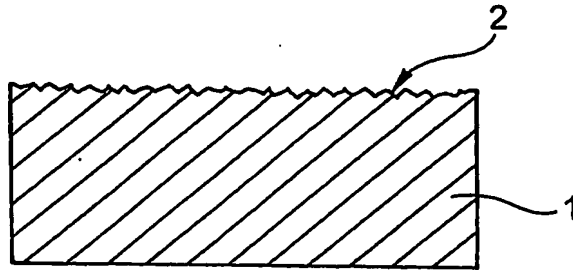


Fig.1

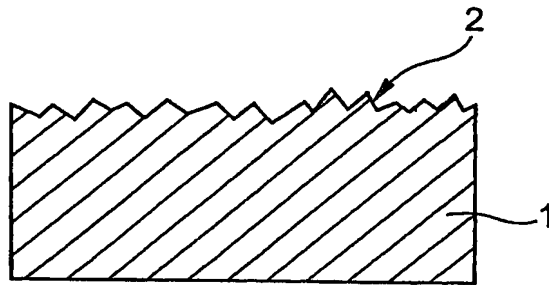


Fig.2

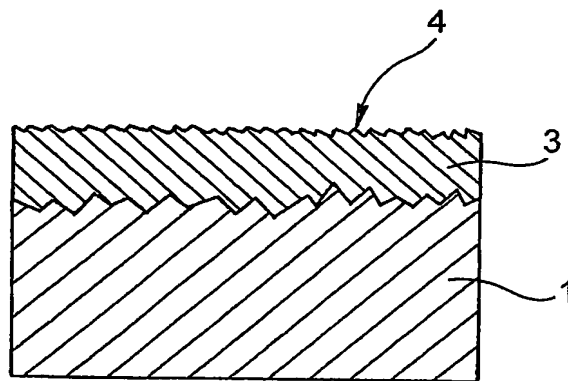


Fig.3

2/2

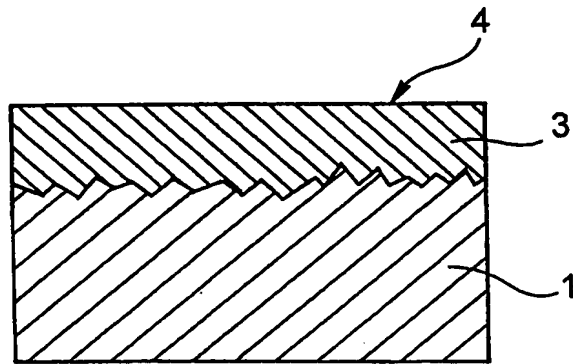


Fig.4

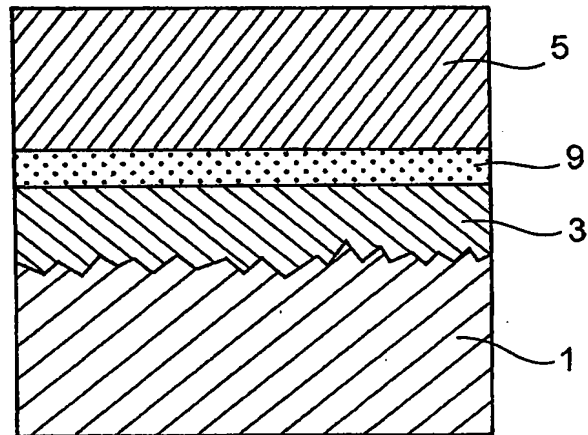


Fig.5

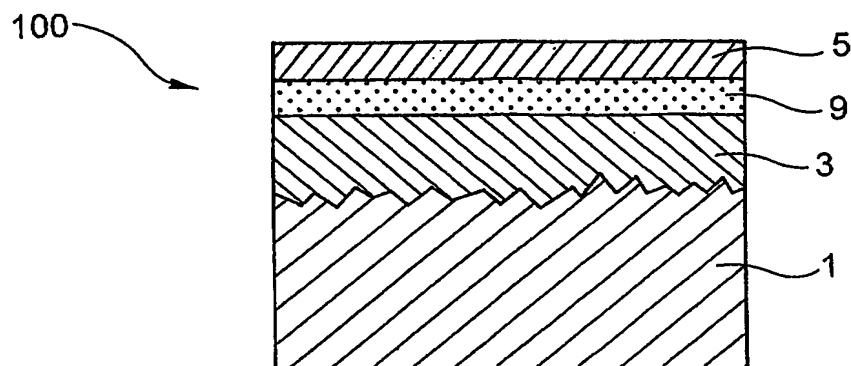


Fig.6





## BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11235'03

## DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 1.

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 270601

Vos références pour ce dossier (facultatif)	BIF116044/FR
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL	0308865

TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

Structure empilée, et Procédé pour la fabriquer

LE(S) DEMANDEUR(S) :

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :

1 Nom		MORICEAU
Prénoms		Hubert
Adresse	Rue	26, rue du Fournet
	Code postal et ville	38120 SAINT-EGREVE
Société d'appartenance (facultatif)		
2 Nom		ASPAR
Prénoms		Bernard
Adresse	Rue	110, lotissement le Hameau des Ayes
	Code postal et ville	38140 RIVES
Société d'appartenance (facultatif)		
3 Nom		MARGAIL
Prénoms		Jacques
Adresse	Rue	Chemin Maubec
	Code postal et ville	38710 LA TRONCHE
Société d'appartenance (facultatif)		

S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.

DATE ET SIGNATURE(S)  
DU (DES) DEMANDEUR(S)  
OU DU MANDATAIRE  
(Nom et qualité du signataire)Le 21 juillet 2003  
François LEPELETIER-BEAUFOND N°92.1151  
SANTARELLI

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**